

台風 9918 号の衰弱・再発達過程に関する数値的研究

吉野純・石川裕彦・植田洋匡

1. はじめに

台風やハリケーンといった熱帯擾乱は、中緯度帯へと北上する際に予期せぬ急発達を遂げることがある。過去の研究報告から、温低化過程にある台風は、中緯度圏界面付近の高渦位偏差やジェットと相互作用することで、急激にその構造と勢力を変えることが知られている。しかしながら、その詳しい力学的構造や変動過程に関しては依然として理解されていないのが現状である。本研究では、台風 9918 号の温帯低気圧化を、領域メソ気象モデル MM5 により再現し、渦位的診断手法により台風渦と他の擾乱との相互作用の定量化を試みた。

2. 数値実験の概要

本研究で用いた数値予報モデルは、PSU/NCAR MM5 (Dudhia, 1993)である。水平格子間隔は 30 × 30km で、鉛直 24 レベルとした。雲の微物理過程には Reisner スキームを、サブグリッドスケールの対流効果には Grell スキームを併用した。大気境界層過程には Blackadar スキームを使用した。また、台風ポーガスを組み込むことで解像度に見合った台風強度を与えた。初期値・側面境界条件には、NCEP final analyses を使用した。

3. Piecewise PV inversion について

数値モデルにより再現された気象場から、減衰・再発達期にある台風と周辺場との相互作用を定量的に見積もるために、Davis and Emanuel (1991)に基づく Piecewise Potential Vorticity Inversion スキームを構築した。この手法は、線形化バランス風方程式 (1)と Ertel 渦位方程式 (2)の二元連立方程式系からなる。個々の渦位偏差 q_n に関して、SOR 法により解くことで、その q_n が励起する流線関数偏差 Ψ_n とジオポテンシャル偏差 Φ_n を得る。準地衡風渦位と異なり Ro 数に依存しないので台風等のメソ擾乱にも適用できる。

$$\nabla^2 \Psi_n = \nabla \cdot (f \nabla \Psi_n) + 2m^2 \left(\frac{\partial \Psi_n}{\partial x^2} \frac{\partial \Psi_n}{\partial y^2} + \frac{\partial \Psi_n}{\partial y^2} \frac{\partial \Psi_n}{\partial x^2} - 2 \frac{\partial^2 \Psi_n}{\partial x \partial y} \frac{\partial^2 \Psi_n}{\partial x \partial y} \right) \quad (1)$$

$$q_n = \frac{g \kappa \pi m^2}{p} \left[\left(\frac{f}{m^2} + \nabla \Psi_n \right) \frac{\partial^2 \Phi_n}{\partial \pi^2} + \frac{\partial \Phi_n}{\partial \pi^2} \nabla^2 \Psi_n - \left(\frac{\partial \Psi_n}{\partial x \partial \pi} \frac{\partial \Phi_n}{\partial x \partial \pi} + \frac{\partial \Phi_n}{\partial x \partial \pi} \frac{\partial \Psi_n}{\partial x \partial \pi} \right) - \left(\frac{\partial \Psi_n}{\partial y \partial \pi} \frac{\partial \Phi_n}{\partial y \partial \pi} + \frac{\partial \Phi_n}{\partial y \partial \pi} \frac{\partial \Psi_n}{\partial y \partial \pi} \right) \right] \quad (2)$$

(記号の説明は割愛する。)また、渦位傾向方程式、バランス風傾向方程式、バランスオメガ方程式、質量保存式、熱力学方程式を、渦位 q と適当な境界値の元で、同様にして連立させることで、

$$\left(\Psi, \Phi, \omega, \chi, \frac{\partial \Psi}{\partial t}, \frac{\partial \Phi}{\partial t}, \frac{\partial q}{\partial t}, \frac{d\theta}{dt} \right)$$

以上計 8 種類の 3 次元情報を得ることができる。

4. 結果と考察

MM5 により再現された台風 9918 号は、気象庁ベストトラックや GMS-5 画像と比較して、極めて現実的な減衰・再発達過程を遂げた。再発達期 (9 月 26 日 12 時 Z)の台風は、上層において、成層圏起源の乾燥した高渦位アノマリーをサイクロニックに巻き込むことで、下層の衰弱しかけた台風と結合し再発達を遂げた。この気象場に対して Piecewise PV inversion 解析により、「成層圏起源の $+q_n (=Q_d)$ 」「潜熱解放に伴う $+q_n (=Q_h)$ 」「大気境界層の傾圧性に伴う $\pm q_n (= \theta_{eff})$ 」「対流圏起源の $-q_n (=Q_n)$ 」の計 4 種類の q_n に分離して、それぞれのサイクロジェネシスに対する寄与率を調べた。その結果、最も発達に寄与したのは下層での潜熱解放 Q_h であり 1000hPa における低気圧中心の全高度偏差 $\Phi_n (= -20\text{dam})$ の 54%を占めた。その他、 θ_{eff} は 43%、 Q_d は 8%、 Q_n は -5%であった。上層の乾燥した高渦位偏差 Q_d は静的に大きな発達率を示さなかったが、この Q_d トラフの存在が台風再発達のきっかけとなったことが、バランスオメガ方程式や感度実験等の解析により理解された。また、台風の上層における負の渦位偏差 Q_n (非断熱加熱による)の存在は、衰弱期には強くサイクロリシスに寄与したが、再発達期には、 Q_n が下流側に流されることで、アウトフロージェットの形成へと寄与し、結果としてジェットの入り口に位置した台風を再発達へ導いた。